



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 101 14 421 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 02 N 2/02

⑯ Aktenzeichen: 101 14 421.0  
⑯ Anmeldetag: 23. 3. 2001  
⑯ Offenlegungstag: 2. 10. 2002

⑰ Anmelder:  
Conti Temic microelectronic GmbH, 90411  
Nürnberg, DE

⑰ Erfinder:  
Wagner, Bernhard, Dr.-Ing., 90489 Nürnberg, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	198 41 002 C1
DE	198 10 321 C2
DE	44 35 832 C2
DE	199 21 456 A1
DE	197 33 560 A1
DE	197 14 607 A1
DE	196 53 666 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren zum Steuern eines kapazitiven Stellglieds und Schaltungsanordnung zur Durchführung des  
Verfahrens

⑯ Ein kapazitives Stellglied, insbesondere ein piezoelektrischer Aktuator, wird üblicherweise mit einem auf einen konstanten mittleren Wert geregelten Steuerstrom solange geladen bzw. entladen, bis am Stellglied eine vorgegebene Spannung anliegt. Aus diesem Lade- bzw. Entladevorgang resultiert eine Hubbewegung um einen vom Steuerstrom abhängigen Hub. Das neue Verfahren soll die freie Vorgabe des Hubverlaufs ermöglichen. Dies wird erreicht, indem eine von der Ladung des Stellglieds abhängige Größe als Regelgröße erfaßt wird, die vorzugsweise zusätzlich auch vom Steuerstrom abhängig ist, und indem die Regelgröße durch Steuerung des Steuerstroms einer Führungsgröße nachgeregelt wird, deren zeitlicher Verlauf derart vorgegeben wird, daß aus der Regelung der Regelgröße ein vorgegebener zeitlicher Verlauf des Hubs resultiert. Die Erfassung der Regelgröße läßt sich dabei auf eine Erfassung einer am Stellglied oder an einer Shuntimpedanz anliegenden Spannung zurückführen, wobei die Shuntimpedanz vorzugsweise als Reihenschaltung aus einem Shuntkondensator und einem Shuntwiderstand ausgeführt ist. Steuerung von piezoelektrischen Kraftstoffeinspritzventilen.

DE 101 14 421 A 1

DE 101 14 421 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines kapazitiven Stellglieds gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Aus der DE 197 33 560 A1 ist ein Verfahren zum Steuern eines kapazitiven Stellglieds gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bekannt. Bei diesem Verfahren wird ein piezoelektrisches Element als Stellglied verwendet, das über eine Spule mit einem Steuerstrom geladen bzw. entladen wird und in Antwort auf den Steuerstrom eine Hubbewegung durchführt. Der Steuerstrom wird während des Ladens bzw. Entladens des Stellglieds durch wiederholtes Betätigen eines Ladeschalters bzw. eines Entladeschalters derart geregelt, daß das Stellglied mit einem vorgegebenen mittleren Ladestrom bzw. Entladestrom geladen bzw. entladen wird, wobei der Ladevorgang bzw. Entladevorgang beendet wird, wenn die Spannung am Stellglied jeweils einen vorgegebenen Spannungsendwert erreicht hat. Hierzu werden der Steuerstrom und die sich am Stellglied einstellende Spannung mit geeigneten Sensoren erfaßt und von einer Regeleinrichtung ausgewertet.

[0003] Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Hubbewegung einen fest vorgegebenen Verlauf aufweist.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 anzugeben, das auf einfache und kostengünstige Weise die freie Vorgabe des Verlaufs der Hubbewegung ermöglicht. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

[0005] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und durch die Merkmale des Patentanspruchs 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0006] Beim erfundsgemäßen Verfahren wird ein kapazitives Stellglied, insbesondere ein piezoelektrischer Aktuator, durch einen Steuerstrom geladen oder entladen, woraufhin das Stellglied eine vom Steuerstrom abhängige Hubbewegung durchführt. Zur Steuerung der Hubbewegung wird eine von der Ladung des Stellglieds abhängige Größe als Regelgröße erfaßt und durch Steuerung des Steuerstroms einer Führungsgröße nachgeregelt, wobei die Steuerung des Steuerstroms durch wiederholtes Betätigen eines Ladeschalters während des Ladens des Stellglieds bzw. durch wiederholtes Betätigen eines Entladeschalters während des Entladens des Stellglieds erfolgt. Der zeitliche Verlauf der Führungsgröße wird dabei derart vorgegeben, daß aus der Regelung der Regelgröße ein vorgegebener zeitlicher Verlauf des Hubs des Stellglieds resultiert. Durch die Regelung der Regelgröße wird somit auch die Hubbewegung des Stellglieds geregelt.

[0007] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Erfassung der Regelgröße auf die Erfassung einer am Stellglied anliegenden Spannung zurückgeführt, da diese Spannung von der elektrischen Ladung des Stellglieds abhängig ist.

[0008] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Regelgröße als Größe erfaßt, die sowohl von der Ladung des Stellglieds als auch vom Steuerstrom, also von der zeitlichen Änderung der Ladung, abhängig ist. Vorzugsweise wird die Regelgröße hierbei als gewichtete Summe aus einer von der Ladung des Stellglieds abhängigen Größe, insbesondere aus einer zur Ladung proportionalen Größe, und einer vom Steuerstrom abhängigen Größe, insbesondere einer zum Steuerstrom proportionalen Größe, erfaßt.

[0009] Vorzugsweise wird der Steuerstrom während des Ladens bzw. Entladens des Stellglieds über eine zum Stellglied in Reihe geschaltete kapazitive Shuntimpedanz geführt und die Regelgröße als Spannung erfaßt, die an der Shuntimpedanz anliegt, wobei die Shuntimpedanz vorteilhafterweise als Reihenschaltung aus einem Shuntkondensator und einem Shuntwiderstand ausführt ist. Durch den Shuntwiderstand wird sichergestellt, daß keine unerwünschten Schwingungen aufgrund der für die Regelung unerlässlichen Rückkopplung entstehen. Die Verwendung eines Shuntkondensators zur Erfassung der Regelgröße erweist sich dabei als besonders vorteilhaft, da der der Ladung des Stellglieds entsprechende Signalanteil aus der Regelgröße dann weitgehend unabhängig von Temperaturänderungen und Hystereseffekten ist.

[0010] Das Verfahren läßt sich auf einfache Weise mit einer Schaltungsanordnung durchführen, die in einem Lastzweig eine Reihenschaltung aus dem Stellglied, der kapazitiven Shuntimpedanz und einem induktiven Bauelement enthält, wobei der Lastzweig über den Ladeschalter und eine zum Ladeschalter parallel geschaltete erste Diode mit einem ersten Anschluß eines Speicher kondensators sowie über den Entladeschalter und eine zum Entladeschalter parallel geschaltete zweite Diode mit einem zweiten Anschluß des Speicher kondensators verbunden ist, der Speicher kondensator mit einer Gleichspannungsquelle verbunden ist und eine Regeleinrichtung zur Regelung der Regelgröße durch Betätigung des Ladeschalters bzw. des Entladeschalters vorgesehen ist. Das induktive Bauelement ist zur Begrenzung des Steuerstroms vorgesehen. Es kann als Spule ausgeführt sein, die bei Taktung des Lade- und Entladeschalters mit kurzen Schaltzeiten klein dimensioniert sein kann. Die Verwendung des induktiven Bauelements als strombegrenzendes Bauelement führt bei einem periodischen Betrieb zu einem hohen Wirkungsgrad, da ein Teil der elektrischen Ladung aus einem Zyklus für den nächsten Zyklus gespeichert wird.

[0011] Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß es bestens für den Einsatz in Kraftfahrzeugen zur Steuerung piezoelektrischer Aktuatoren in Kraftstofffeinspritzventilen geeignet ist. Bei einem derartigen Anwendungsfall ermöglicht das Verfahren die schnelle Betätigung des Kraftstofffeinspritzventils, die Steuerung des Ventilhubs, beispielsweise das Öffnen des Ventils bis zu einer halb offenen Stellung, die Verlausformung der Kraftstofffeinspritzmengen und die Einspritzung geringer Kraftstoffmengen während einer Vor- oder Nacheinspritzung. Von Vorteil ist hierbei die Regelung der die elektrische Ladung des Stellglieds als maßgebende Größe enthaltenden Regelgröße, da die Ladung ein Maß der Hubbewegung des Stellglieds und des Ventilhubs ist und somit kein Hub sensor zur Ermittlung des Ventilhubs benötigt wird.

[0012] Die Dauer des Öffnungs- und Schließvorgangs bei der Betätigung des Kraftstofffeinspritzventils läßt sich aufgrund der Regelung der Hubbewegung unabhängig von Bauteiletoleranzen und Umgebungseinflüssen, insbesondere der Temperatur, steuern. Des Weiteren läßt sich die Hubbewegung durch die Vorgabe der Führungsgröße derart steuern, daß keine mechanischen Schwingungen auftreten. Dies wird erreicht durch eine gezielte Vorgabe des Hubverlaufs derart, daß dieser Verlauf in einer Endphase der Hubbewegung eine abnehmende Steilheit aufweist und somit einer Kurve entspricht, die sich beispielsweise kosinusförmig, parabolisch oder exponentiell allmählich einem gewünschten Endwert annähert. Das Kraftstofffeinspritzventil wird dann sanft in seine Entstellungen oder in eine gewünschte frei vorgebbare Zwischenposition gefahren und somit nicht oder nur in geringem Maße zum Schwingen angeregt.

[0013] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nach-

folgend anhand von Figuren näher beschrieben. Es zeigen:  
 [0014] Fig. 1a eine Prinzipdarstellung eines Kraftstoffeinspritzventils mit einem kapazitiven Stellglied,  
 [0015] Fig. 1b eine Prinzipdarstellung eines weiteren Kraftstoffeinspritzventils mit einem kapazitiven Stellglied,  
 [0016] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung einer Schaltungsanordnung zur Steuerung des Stellglieds aus Fig. 1a oder 1b,  
 [0017] Fig. 3 den Sollwert- und Istwertverlauf einer mit der Schaltungsanordnung aus Fig. 2 erfaßten und geregelten Regelgröße,

[0018] Fig. 4 den Sollwert- und Istwertverlauf der elektrischen Ladung des Stellglieds aus Fig. 1a oder 1b,  
 [0019] Fig. 5 den zeitliche Verlauf des Hubs des Stellglieds aus Fig. 1a oder 1b.

[0020] Gemäß Fig. 1a weist ein in einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs zur Benzin- oder Dieseldirekteinspritzung eingesetztes Kraftstoffeinspritzventil ein kapazitives Stellglied P sowie ein Stellelement E1 auf, welches in eine zur Kraftstoffeinspritzung vorgesehene Ventilöffnung E0 hineinragt. Das Stellglied P ist als piezoelektrischer Aktuator ausgeführt, der durch einen Steuerstrom  $I_p$  geladen oder entladen wird und somit die Eigenschaft aufweist, sich in Abhängigkeit der Änderung seiner elektrischen Ladung auszudehnen oder zusammenzuziehen. Durch diese aus dem Laden oder Entladen des Stellglieds P resultierende Längenänderung – der Hubbewegung Stellglieds P – wird das Stellglied E1 um einen Hub  $h$  bewegt, was ein Öffnen oder Schließen der Ventilöffnung E0 zur Folge hat.

[0021] Fig. 1b zeigt ein weiteres Beispiel eines Kraftstoffeinspritzventils, das im Gegensatz zu dem Kraftstoffeinspritzventil aus Fig. 1a durch eine Reduzierung des Hubs  $h$  geschlossen wird. Dieses weitere Kraftstoffeinspritzventil weist ebenfalls eine Ventilöffnung E0 und eine Stellelement E1 auf; das Stellelement E1 ist jedoch durch die Ventilöffnung E0 hindurchgeführt und es weist an dem dem Stellglied P entgegengesetztem Ende einen Kopf auf, der sich bei offenem Kraftstoffeinspritzventil in einer von der Ventilöffnung E0 abstandeten Position befindet und der zum Schließen der Ventilöffnung E0 durch eine Kontraktion des Stellglieds P in eine Position gebracht wird, in der er an einer der Kopfform angepaßten Wandung der Ventilöffnung E0 anliegt. Diese Position wird beispielsweise bei einer am Stellglied P anliegenden Spannung  $U_p$  von  $U_p = 0$  V, d. h. bei entladem Stellglied P erreicht, so daß die Ruhestellung des Kraftstoffeinspritzventils eine Geschlossen-Stellung ist.

[0022] Gemäß Fig. 2 weist die Schaltungsanordnung zur Steuerung des Stellglieds P einen Lastzweig Z mit dem Stellglied P, mit einer Spule L zur Begrenzung des Steuerstroms  $I_p$  und mit einer kapazitiven Shuntimpedanz X auf, die zwischen zwei Anschlüssen N1, N2 des Lastzweigs in Reihe geschaltet sind. Die Shuntimpedanz X weist ihrerseits einen Speicherkondensator CS und einen dazu in Reihe geschalteten Shuntwiderstand RS auf. Einer der Anschlüsse N1 des Lastzweigs Z ist über einen Ladeschalter SW1 und eine dazu parallel geschaltete erste Diode D1 mit einem ersten Anschluß eines Speicherkondensators C0 verbunden und er ist ferner über einen Entladeschalter SW2 und eine dazu parallel geschaltete zweite Diode D2 mit dem anderen Anschluß N2 des Lastzweigs Z verbunden, welcher seinerseits mit dem zweiten Anschluß des Speicherkondensators C0 verbunden ist und als Masseanschluß ausgeführt sein kann. Die beiden Anschlüsse des Speicherkondensators C0 sind an eine über einen Versorgungsschalter SW0 zuschaltbare Gleichspannungsquelle V0 angeschlossen. Der Lastzweig Z, die Dioden D1, D2, die Schalter SW0, SW1, SW2 der Speicherkondensator C0 und die Gleichspannungsquelle V0 bilden dabei einen Leistungsteil der Schaltungsanord-

nung.

[0023] Die Schaltungsanordnung umfaßt weiterhin einen Regelteil mit einem Steuergerät S1, einem durch das Steuergerät S1 angesteuerten Sollwertgenerator S0, einem durch den Sollwertgenerator S0 angesteuerten Komparator K mit Hystereseschaltverhalten und einer durch das Steuergerät S1 und den Komparator K angesteuerten Regelstufe S2, die ihrerseits den Ladeschalter SW1 und den Entladeschalter SW2 ansteuert.

[0024] Bei der Inbetriebnahme der Schaltungsanordnung wird der Speicherkondensator C0 über den Versorgungsschalter SW0 aus der Gleichspannungsquelle V0 auf eine zum Betrieb des Stellglieds P erforderliche Spannung aufgeladen. Anschließend wird der Versorgungsschalter SW0 geöffnet und während des Betriebs wiederholt nur kurzzeitig geschlossen, um Ladungsverluste, die aus ohmschen Verlusten resultieren, zu kompensieren. Während des Betriebs werden der Ladeschalter SW1 bzw. der Entladeschalter SW2 wiederholt geöffnet und geschlossen, so daß hieraus ein getaktetes Laden bzw. Entladen des Stellglieds P resultiert. Der hierbei durch das Stellglied P fließende Steuerstrom  $I_p$  fließt gleichzeitig auch durch den Shuntkondensator CS, so daß die im Shuntkondensator CS gespeicherte elektrische Ladung proportional zur Ladung des Stellglieds P ist und der Shuntkondensator CS somit ebenfalls getaktet geladen bzw. entladen wird.

[0025] Beim Ladevorgang ist der Entladeschalter SW2 stets offen und die erste Diode D1 stets gesperrt während beim Entladevorgang der Ladeschalter SW1 stets offen und die zweite Diode D2 stets gesperrt ist. Der Leistungsteil der Schaltungsanordnung setzt sich somit aus einem beim Ladevorgang wirksamen Tiefsetzsteller und einem beim Entladevorgang wirksamen Hochsetzsteller zusammen, wobei der Tiefsetzsteller den Speicherkondensator C0, den Ladeschalter SW1, die zweite Diode D2 und den Lastzweig Z und der Hochsetzsteller den Speicherkondensator C0, den Entladeschalter SW2, die erste Diode D1 und den Lastzweig Z umfaßt.

[0026] Die Spule L wirkt als Energiespeicher, dem elektrische Energie vom Speicherkondensator C0 (beim Ladevorgang) bzw. vom Stellglied P (beim Entladevorgang) zugeführt wird. Diese Energie wird in der Spule L als magnetische Energie gespeichert und nach einer Betätigung des Ladeschalters SW1 (beim Ladevorgang) bzw. des Entladeschalters SW2 (beim Entladevorgang) an das Stellglied P bzw. den Speicherkondensator C0 als elektrische Energie abgegeben. Die Zeitpunkte und die Dauer der Energiespeicherung und der Energieabgabe werden dabei durch die Schalterbetätigungen bestimmt. Somit läßt sich auch der dem Stellglied P zugeführte oder vom Stellglied P abgeführte Steuerstrom  $I_p$  durch die Schalterbetätigungen steuern.

[0027] Als Folge des durch das Stellglied P fließenden Steuerstroms  $I_p$  liegt an der Shuntimpedanz X eine Regelspannung  $U_X$  an, die sich aus einer am Shuntwiderstand RS anliegenden Spannung  $U_R$  und einer am Shuntkondensator CS anliegenden Spannung  $U_C$  zusammensetzt. Die am Shuntwiderstand RS anliegende Spannung  $U_R$  ist dabei proportional zum Steuerstrom  $I_p$  und die am Shuntkondensator CS anliegende Spannung  $U_C$  proportional zu der elektrischen Ladung des Stellglieds P. Die Regelspannung  $U_X$  entspricht somit der gewichteten Summe aus elektrischer Ladung des Stellglieds P und Steuerstrom  $I_p$  und sie stellt die mit dem Regelteil der Schaltungsanordnung zu regelnde Regelgröße dar, aus deren Regelung die Regelung des Hubverlaufs  $h$  des Stellglieds P resultiert.

[0028] Zur Regelung des Hubverlaufs  $h$  des Kraftstoffeinspritzventils ist es erforderlich die gewünschten Zeitpunkte

der Betätigung des Kraftstoffeinspritzventils, die gewünschte Bewegungsrichtung des Kraftstoffeinspritzventils sowie die gewünschte Höhe des Hubs  $h$  vorzugeben. Diese Aufgabe wird im vorliegenden Beispiel vom Steuergerät S1 übernommen. Das Steuergerät S1 kann weiterhin bestimmen, ob eine Vor- oder Nacheinspritzung vorgenommen werden soll. Der Sollwertgenerator S0 erzeugt in Abhängigkeit der Vorgaben des Steuergeräts S1 eine Sollspannung  $U_S$ , die im Komparator K mit der als Regelgröße erfaßten Regelspannung  $U_X$  verglichen wird. Das Ergebnis dieses Vergleichs wird der Regelstufe S2 zugeführt, die in Abhängigkeit dieses Ergebnisses beim Ladevorgang den Ladeschalter SW1 und beim Entladevorgang den Entladeschalter SW2 wiederholt betätigt und den Steuerstrom  $I_p$  hierdurch derart steuert, daß die Regelspannung  $U_X$  der Sollspannung  $U_S$  nachgeregelt wird. Die Entscheidung, welcher der Schalter SW1, SW2 betätigt werden soll, wird dabei vom Steuergerät S1 getroffen.

[0029] Aus der Regelung der Regelspannung  $U_X$  resultiert ein durch die Sollspannung  $U_S$  bestimmter Verlauf der elektrischen Ladung des Stellglieds P. Die Ladung des Stellglieds P ist proportional zum Hub  $h$  des Stellglieds P und sie ist zudem, was sich als besonders vorteilhaft erweist, temperaturunabhängig. Somit resultiert aus der Regelung der Regelspannung  $U_X$  auch ein durch die Sollspannung  $U_S$  bestimmter Verlauf des Hubs  $h$ . Der Sollwertverlauf der Sollspannung  $U_S$  wird vom Sollwertgenerator S0 daher derart vorgegeben, daß aus der Regelung der Regelspannung  $U_X$  ein Verlauf der elektrischen Ladung des Stellglieds P resultiert, der dem gewünschten Verlauf des Hubs  $h$  entspricht.

[0030] Mit der vorgeschlagenen Schaltungsanordnung wird aufgrund des Hystereseschaltverhaltens des verwendeten Komparators K eine Zwei-Punkt-Regelung durchgeführt, so daß man als Regelspannung  $U_X$  ein Signal erhält, das, wie in Fig. 3 gezeigt, innerhalb eines durch die Schaltschwellen des Komparators K definierten Bandes um die Sollspannung  $U_S$  schwankt.

[0031] Gemäß Fig. 4 resultiert aus der Regelung der Regelspannung  $U_X$  eine Ladung  $Q_X$  des Stellglieds P, deren Verlauf einem Sollwertverlauf  $E$  nacheilt. Der Sollwertverlauf  $Q_S$  ist dabei proportional zum Sollwertverlauf der Sollspannung  $U_S$ . Die Ursache dieser Nacheilung ist im Shuntwiderstand RS zu finden, der bewirkt, daß für die Regelspannung  $U_X$  bei Vernachlässigung des Hystereseschaltverhaltens des Komparators K in guter Näherung gilt:

$$U_X = k_1 \cdot Q_X + k_2 \cdot I_p = k_1 \cdot Q_X + k_2 \cdot dQ_X/dt,$$

wobei  $k_1, k_2$  Proportionalitätskonstanten darstellen, die von dem Shuntkondensator CS bzw. dem Shuntwiderstand RS abhängig sind,  $Q_X$  die Ladung des Stellglieds P darstellt,  $I_p$  den Steuerstrom, d. h. die zeitliche Änderung der Ladung  $Q_X$  darstellt,  $k_1 \cdot Q_X$  den Spannungsabfall am Shuntkondensator CS darstellt und  $k_2 \cdot I_p$  den Spannungsabfall am Shuntwiderstand RS darstellt. Das Verhältnis Ladung  $Q_X$  zu Regelspannung  $U_X$  entspricht somit der Übertragungsfunktion eines Verzögerungsglieds erster Ordnung, dessen Zeitkonstante allein durch die Proportionalitätskonstanten  $k_1, k_2$  und somit allein durch die Werte des Shuntkondensators CS und des Shuntwiderstands RS bestimmt wird. Die Ladung  $Q_X$  eilt somit einer der Regelspannung  $U_X$  entsprechenden Ladung nach. Bei auf die Sollspannung  $U_S$  eingeregelter Regelspannung  $U_X$  eilt die Ladung  $Q_X$  somit auch einer der Sollspannung  $U_S$  entsprechenden Ladung  $Q$ , also dem Sollwertverlauf  $Q_S$ , nach.

[0032] Fig. 5 zeigt den aus der Regelung der Regelspannung  $U_X$  resultierenden zeitlichen Verlauf des Hubs  $h$ . Dieser Verlauf entspricht dem in Fig. 4 gezeigten Verlauf der

Ladung  $Q_X$  und er läßt sich ohne weiteres durch eine entsprechende Vorsteuerung der Sollspannung  $U_S$  zeitlich verschieben. Der Hub  $h$  weist im vorliegenden Fall eine kosinusförmige Zeitabhängigkeit auf, d. h. sein Verlauf weist in der Bewegungsendphase keine Knickstellen auf. Dies hat zur Folge, daß die Nadel E1 des Kraftstoffeinspritzventils sanft in ihre gewünschte Zwischen- oder Endstellung bewegt wird, so daß keine unerwünschten mechanischen Belastungen auftreten, die das Entstehen von mechanischen Schwingungen in Kraftstoffeinspritzventil begünstigen würden.

[0033] Der wesentliche Vorteil des beschriebenen Regelverfahrens liegt jedoch in der Regelung einer die Ladung  $Q_X$  des Stellglieds als maßgebende Größe enthaltenden Regelgröße. Da die Ladung  $Q_X$  unabhängig von Temperaturschwankungen ist, erhält man somit ein von Temperaturschwankungen weitgehend unabhängiges Regelverfahren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines kapazitiven Stellglieds (P), das durch einen Steuerstrom ( $I_p$ ) geladen oder entladen wird und durch die Bestromung eine Hubbewegung um einen vom Steuerstrom ( $I_p$ ) abhängigen Hub ( $h$ ) durchführt, wobei der Steuerstrom ( $I_p$ ) während des Ladens bzw. Entladens des Stellglieds (P) durch wiederholtes Betätigen eines Ladeschalters (SW1) bzw. eines Entladeschalters (SW2) gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine von der Ladung ( $Q_X$ ) des Stellglieds (P) abhängige Größe als Regelgröße ( $U_X$ ) erfaßt wird und durch Steuerung des Steuerstroms ( $I_p$ ) einer Führungsgröße ( $U_S$ ) nachgeregelt wird, wobei der zeitliche Verlauf der Führungsgröße ( $U_S$ ) derart vorgegeben wird, daß aus der Regelung der Regelgröße ( $U_X$ ) ein vorgegebener zeitlicher Verlauf des Hubs ( $h$ ) resultiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine am Stellglied (P) anliegende Spannung als Regelgröße ( $U_X$ ) erfaßt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgröße ( $U_X$ ) als eine von der Ladung des Stellglieds (P) und vom Steuerstrom abhängige Größe erfaßt wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelgröße ( $U_X$ ) als gewichtete Summe einer von der Ladung ( $Q_X$ ) des Stellglieds

(P) abhängigen Größe und einer vom Steuerstrom ( $I_p$ ) abhängigen Größe erfaßt wird.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der vorgegebene zeitliche Verlauf des Hubs ( $h$ ) derart gewählt wird, daß er einer Kurve mit in einer Bewegungsendphase abnehmender Steilheit entspricht.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der vorgegebene zeitliche Verlauf des Hubs ( $h$ ) derart gewählt wird, daß er einer Kurve mit in einer Bewegungsstartphase zunehmender Steilheit entspricht.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Steuerstrom während des Ladens bzw. Entladens des Stellglieds über eine zum Stellglied (P) in Reihe geschaltete kapazitive Shuntimpedanz ( $X$ ) geführt wird und daß die Regelgröße ( $U_X$ ) als Spannung erfaßt wird, die an der Shuntimpedanz ( $X$ ) anliegt.

8. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß

das Stellglied (P), die kapazitive Shuntimpedanz (X) und ein induktives Bauelement (L) in einem Lastzweig in Reihe geschaltet sind, der Lastzweig über den Ladeschalter (SW1) und eine zum Ladeschalter (SW1) parallel geschaltete erste Diode (D1) mit einem ersten Anschluß eines Speicher kondensators (C0) sowie über den Entladeschalter (SW2) und eine zum Entladeschalter (SW2) parallel geschaltete zweite Diode (D1) mit einem zweiten Anschluß des Speicher kondensators (C0) verbunden ist, der Speicher kondensator (C0) mit einer Gleichspannungsquelle (V0) verbunden ist und eine Regeleinrichtung (S0, S1, S2, K) zur Regelung der Regelgröße ( $U_X$ ) durch Betätigung des Ladeschalters (SW1) bzw. des Entladeschalters (SW2) vorgesehen ist.

5  
10  
15

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die kapazitive Shuntimpedanz (X) einen Shuntkondensator (CS) und einen dazu in Reihe geschalteten Shuntwiderstand (RS) aufweist.

20

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Stellglied (P) als piezoelektrischer Aktuator ausgebildet ist.

11. Verwendung der Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 10 zur Steuerung eines Stellglieds (P) zur Betätigung eines Kraftstoffeinspritzventils in einer Brennkraftmaschine.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

BEST AVAILABLE COPY

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl. 7:  
Offenlegungstag:

DE 101 14 421 A1  
H 02 N 2/02  
2. Oktober 2002

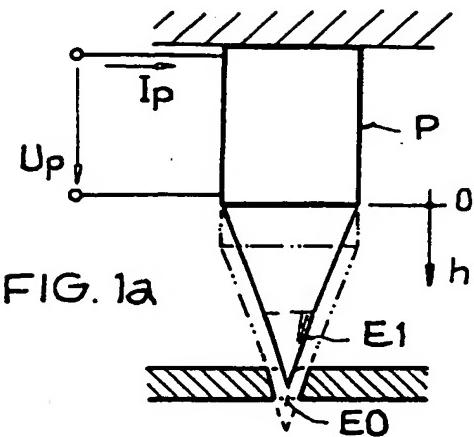


FIG. 1a

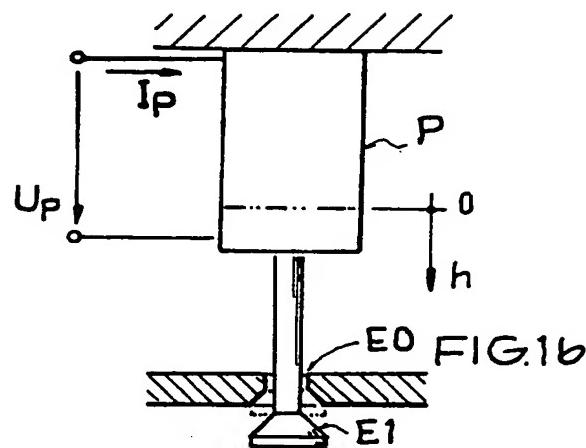


FIG. 1b

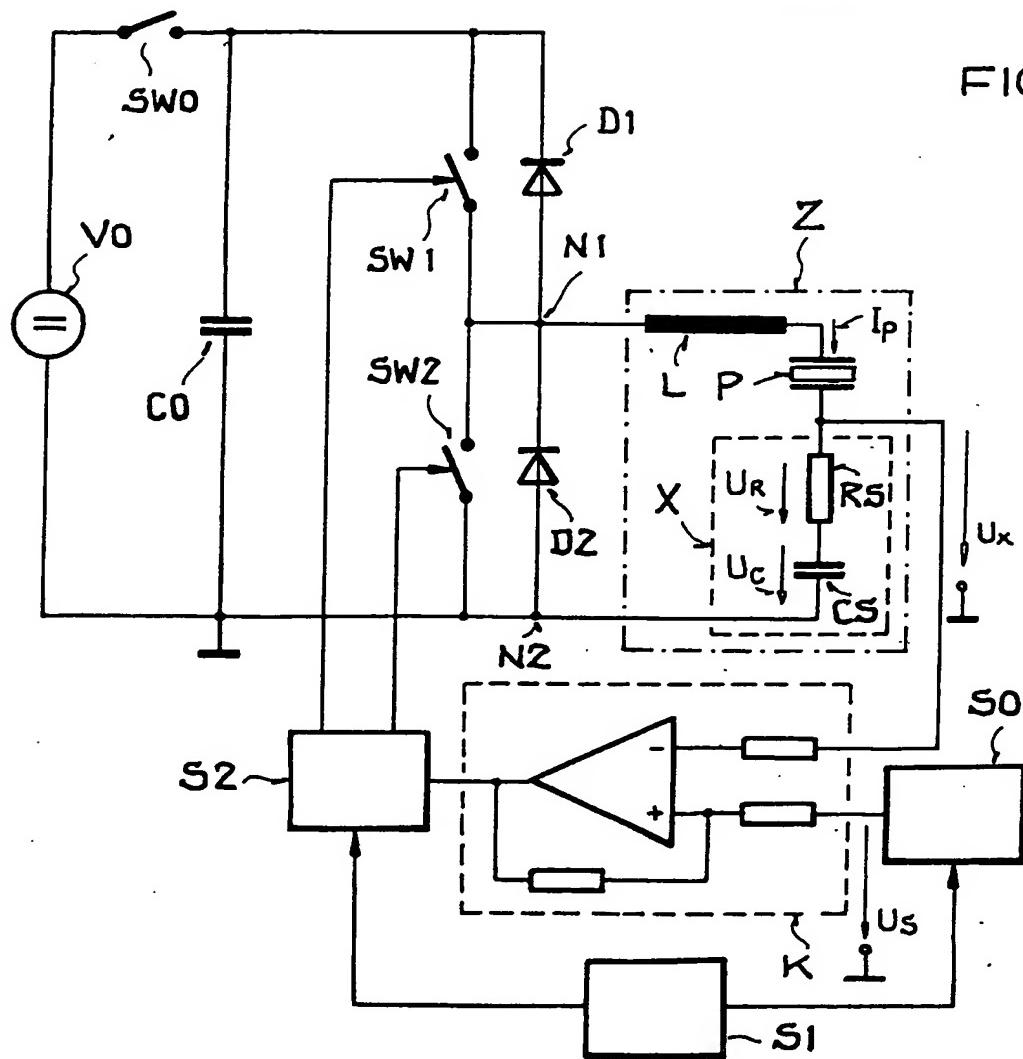


FIG. 2

**BEST AVAILABLE COPY**

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:  
Int. Cl. 7:  
Offenlegungstag:

DE 101 14 421 A1  
H 02 N 2/02  
2. Oktober 2002

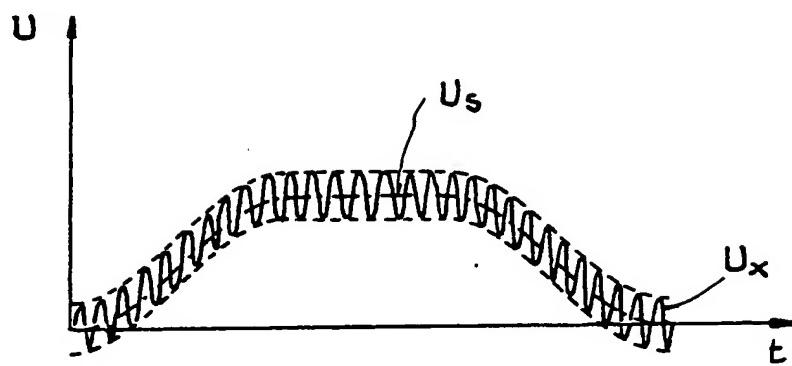


FIG.3

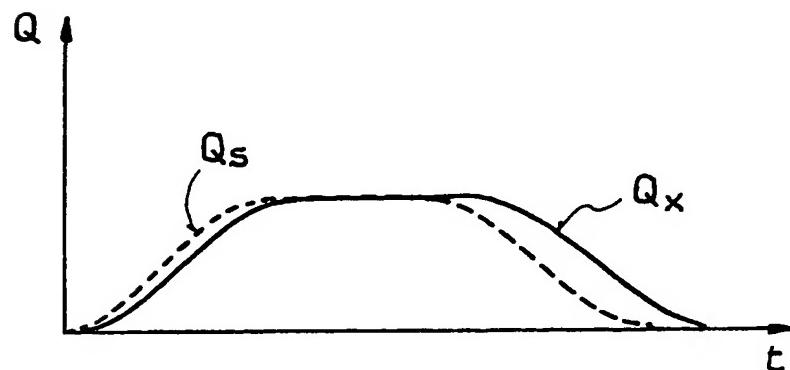


FIG.4

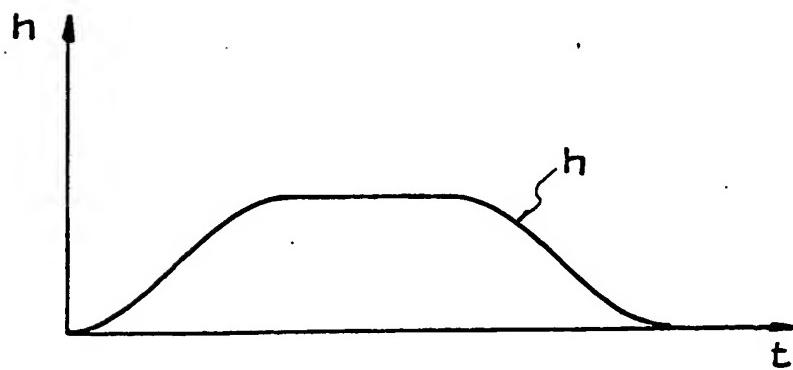
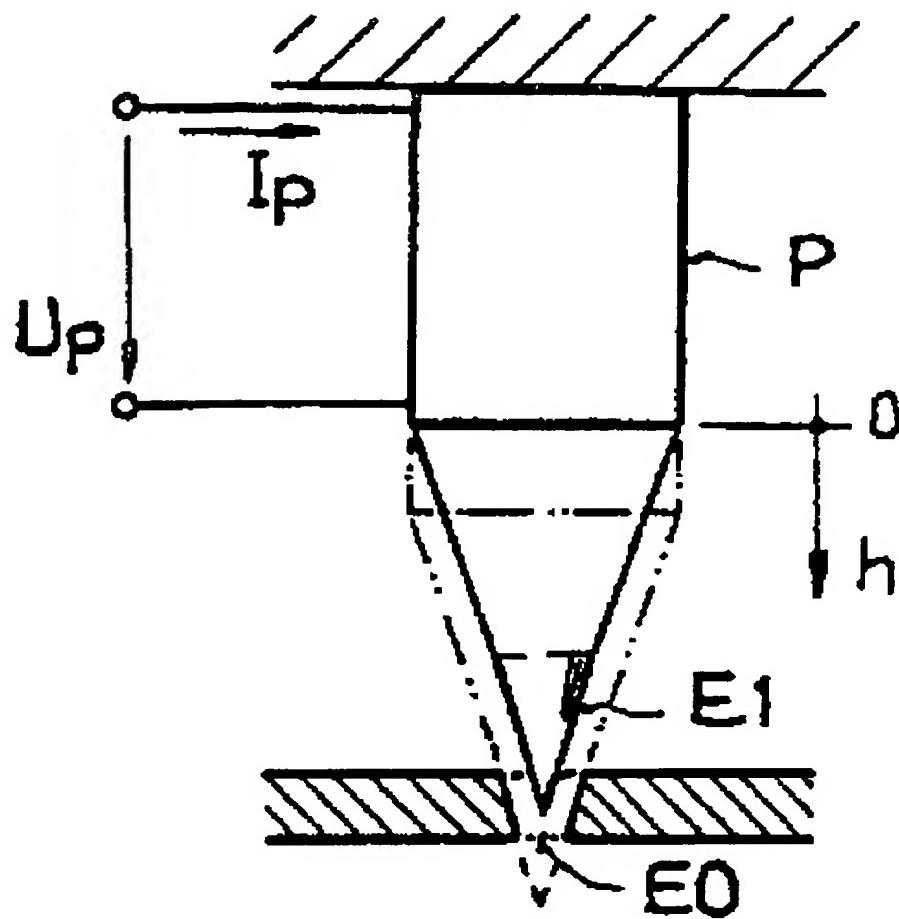


FIG.5

AN: EPAT 2002-742272  
TI: Controlling capacitive actuator element e.g. piezoelectric actuator for fuel injection valve, involves specifying parameter time profile so that defined profile of actuator element stroke is achieved by controlling control parameter  
PN: DE10114421-A1  
PD: 02.10.2002  
AB: NOVELTY - The method involves applying a control current ( $I_p$ ) to produce an actuator element (P) stroke (h) motion depending on the current. A control parameter depending on the charge of the actuator element is detected and a controlled parameter is regulated by controlling the control current. The time profile of the controlled parameter is specified so that a defined profile of the stroke motion is achieved by controlling the control parameter. DETAILED DESCRIPTION - AN INDEPENDENT CLAIM is also included for the following: a circuit for implementing the method.; USE - For controlling capacitive actuator element e.g. piezoelectric actuator, for actuating fuel injection valve in internal combustion engine (claimed).  
ADVANTAGE - Enables the actuator element's stroke motion profile to be freely specified in a simple and inexpensive manner. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic representation of a actuating fuel injection valve with a capacitive actuator element control current  $I_p$  actuator element P stroke h  
PA: (TELE ) CONTI TEMIC MICROELECTRONIC GMBH;  
IN: WAGNER B;  
FA: DE10114421-A1 02.10.2002;  
CO: DE;  
IC: H02N-002/02;  
MC: V06-N07; V06-U03; X22-A03A1;  
DC: V06; X22;  
FN: 2002742272.gif  
PR: DE1014421 23.03.2001;  
FP: 02.10.2002  
UP: 16.12.2002



BEST AVAILABLE COPY